

(12) NACH DEM VEREINBAR ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

10/539818

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. Juli 2004 (15.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/058420 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: B06B 1/04,
G01N 29/24

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/013857

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. Dezember 2003 (06.12.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 59 891.6 20. Dezember 2002 (20.12.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HÜBSCHEN, Gerhard [DE/DE]; Lorisgartenstrasse 11, 66740 Saarlouis (DE). NIESE, Frank [DE/DE]; Markstr. 6, 66125 Saarbrücken (DE). VISKOV, Alexander [DE/DE]; Bruchwiesenanlage 4, 405-5, 66125 Saarbrücken (DE).

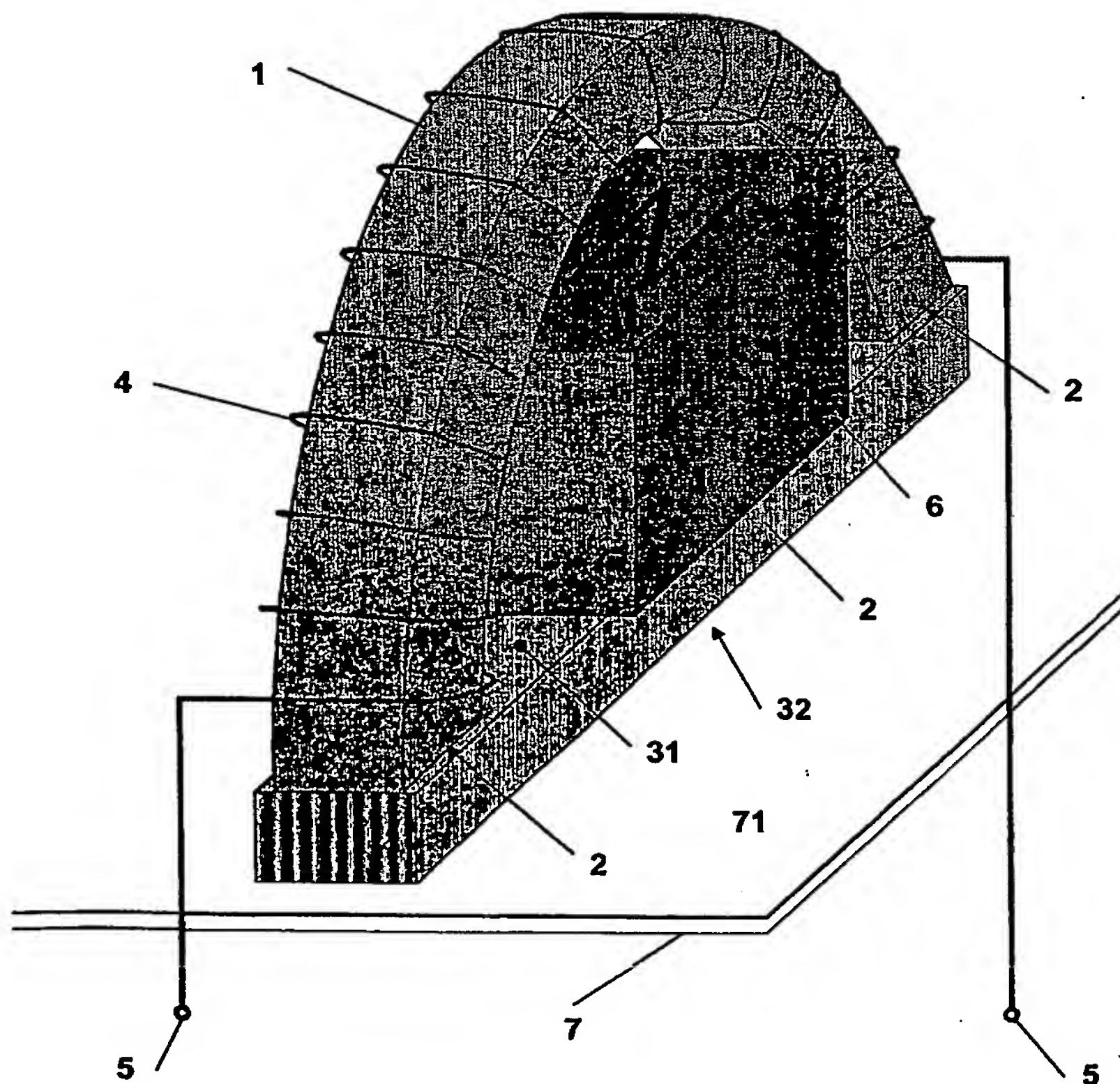
(74) Anwalt: RÖSLER, Uwe; Landsberger Strasse 480a, 81241 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTROMAGNETIC ULTRASOUND CONVERTER

(54) Bezeichnung: ELEKTROMAGNETISCHER ULTRASCHALLWANDLER



(57) Abstract: An electromagnetic ultrasound converter is disclosed, for the non-coupled generation and/or reception of ultrasound waves in the form of linear polarised transverse waves into or from a workpiece with at least one unit for the conversion of the ultrasound waves within the workpiece which comprises a coil arrangement for the generation or detection of a H.F. magnetic field and a pre-magnetisation unit for generation of a quasi-static magnetic field, which superimposes the H.F. magnetic field in the workpiece, whereby said coil arrangement is in the form of a torus arranged on at least one magnetic core which is U-shaped or in the form of a part ring which has two front faces which may be turned to face the workpiece. The invention is characterised in that the front faces of the magnet core which may be turned to face the workpiece are directly or indirectly connected to a magnetic flux guide piece which connects the front faces to each other and which comprises a surface facing the workpiece.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/058420 A1



DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO Patent (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Beschrieben wird ein elektromagnetischer Ultraschallwandler zur koppelmittelfreien Erzeugung und/oder zum Empfang von Ultraschallwellen in Form linear polarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück mit wenigstens einer die Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes wandelnden Einheit, die eine Spulenanordnung zur Erzeugung bzw. zum Nachweis eines HF-Magnetfeldes sowie eine Vormagnetisierungseinheit zur Erzeugung eines quasistatischen Magnetfeldes aufweist, das das HF-Magnetfeld im Werkstück überlagert, wobei die Spulenanordnung torusförmig auf wenigstens einem teilingartig oder U-förmig ausgebildeten Magnetkern angeordnet ist, der jeweils zwei dem Werkstück zukehrbare Stirnflächen aufweist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die dem Werkstück zukehrbaren Stirnflächen des Magnetkerns mittel- oder unmittelbar mit einem die Stirnflächen miteinander verbindenden magnetischen Flussleitstück verbunden sind, das eine dem Werkstück zugewandte Oberfläche aufweist.

Elektromagnetischer Ultraschallwandler

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf einen elektromagnetischen Ultraschallwandler zur koppelmittelfreien Erzeugung und/oder zum Empfang von Ultraschallwellen in Form linear polarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück mit wenigstens einer die Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes wandelnden Einheit, die eine Spulenordnung zur Erzeugung bzw. zum Nachweis eines HF-Magnetfeldes sowie eine Vormagnetisierungseinheit zur Erzeugung eines quasistatischen Magnetfeldes aufweist, das das HF-Magnetfeld im Werkstück überlagert, wobei die Spulenordnung torusförmig auf wenigstens einem teilringartig oder U-förmig ausgebildeten Magnetkern angeordnet ist, der jeweils zwei dem Werkstück zukehrbare Stirnflächen aufweist.

Derartige Ultraschall-Prüfköpfe ermöglichen die Erzeugung sowie den Empfang von linear polarisierten Transversalwellen, die vorzugsweise senkrecht unter dem Prüfkopf in das Werkstück eingeschallt bzw. aus dieser Richtung empfangen werden und vorzugsweise senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung schwingen. Technische Anwendungsgebiete derartiger Ultraschall-Prüfköpfe sind bspw. die zerstörungsfreie Prüfung elektrisch leitfähiger Werkstücke auf Materialfehler, wie bspw. Risse, insbesondere parallel zur Polarisationsrichtung der Ultraschallwelle und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung orientierte rissartige Fehler, sowie andere auf Ultraschallgeschwindigkeit und Polarisation basierende Verfahren, wie bspw. die Spannungsmessung oder insbesondere die Dickenmessung.

Stand der Technik

Die aus dem Stand der Technik bekannten koppelmittelfreien elektromagnetischen Prüfköpfe wandeln elektromagnetische Feldenergien in elastische Energie einer Ultraschallwelle und umgekehrt. Der Wandlungsmechanismus beruht hierbei auf den

Wechselwirkungen zwischen dem elektromagnetischen Feld und einem elektrisch leitendem Material, das zudem durch ein von außen angelegtes statisches oder quasi statisches Magnetfeld durchsetzt wird. Der Begriff „quasi statisches“ Magnetfeld umfasst neben einem tatsächlich statischen Magnetfeld, das bspw. mittels Permanentmagnete erzeugbar ist, auch niederfrequente Magnetfelder, deren Wechselfrequenz sehr viel kleiner ist als die Hochfrequenz, mit der die Spulenanordnung zur Erzeugung von Hochfrequenzfeldern betrieben wird.

Zur Anregung von Ultraschallwellen innerhalb eines elektrisch leitenden Werkstückes wird zumindest ein Teil des von der HF-Spulenanordnung erzeugten hochfrequenten Magnetfeldes, dessen Frequenzbereich innerhalb des Ultraschall-Frequenzbereiches liegt, in das Werkstück eingekoppelt. Diese rufen innerhalb der sogenannten Skintiefe Wirbelströme hervor, die in Überlagerung mit dem „quasi statischen“ Magnetfeld aufgrund von auftretenden Lorentz-Kräften oder Magnetostruktionen innerhalb des Werkstückes Ultraschallwellen erzeugen.

Der Nachweis von innerhalb des Werkstückes auftretenden Ultraschallwellen erfolgt in umgekehrter Weise über die Detektion der induzierten elektrischen Spannung innerhalb der Spulenanordnung, die durch HF-Felder bewirkt wird, die wiederum durch Ultraschallwellen bedingte Bewegungen elektrischer Ladungen im Werkstück innerhalb des „quasi statischen“ Magnetfeldes hervor gerufen werden.

Allen bekannten elektromagnetischen Ultraschallwandlern liegt das gemeinsame Entwicklungsziel zugrunde, die Messempfindlichkeit und damit verbunden die mit der Spulenanordnungen erzeugbaren Signalamplituden sowohl im Sende- als auch im Empfangssignal zu optimieren. Hierbei gilt es zum einen, den Koppelmechanismus, mit dem die erzeugten und nachzuweisenden HF-Felder zwischen dem Ultraschallwandler und dem Werkstück ein- und ausgekoppelt werden, möglichst verlustfrei zu gestalten und zum anderen die Feldstärke des quasistatischen Magnetfeldes, die für die Erzeugung und für den Nachweis von Ultraschallwellen massgeblich ist, möglichst groß zu wählen.

Aus der DE 42 23 470 C2 geht ein gattungsgemäßer elektromagnetischer Prüfkopf für die Senkrechteinschallung von linear polarisierten Transversalwellen hervor, bei dem die HF-Magnetfelder zwischen dem Prüfkopf und dem Werkstück auf höchst effiziente Weise ein- bzw. ausgekoppelt werden, ohne dabei, wie es bei einer Vielzahl anderer Prüfköpfen der Fall ist, die zumeist als HF-Luftspulen ausgebildeten Sende- und Empfangsspulen unmittelbar auf der Werkstückoberfläche aufliegend anzuordnen. Vielmehr sieht der in der vorstehenden Druckschrift beschriebene elektromagnetische Prüfkopf gemäß Figur 2 einen halb offen ausgebildeten, kommerziell aus amorphen Bandmaterial gefertigten Ringbandkern 1 vor, der jeweils von einer Sende- 41 sowie von einer Empfangsspule 42 umwickelt ist. Die Stirnflächen 2 des halb offen ausgebildeten Ringbandkerns 1 dienen als Koppelflächen für die HF-Magnetfelder und sind in geeigneter Weise auf die Oberfläche des zu untersuchenden Werkstückes 7 auflegbar. Die durch die HF-Sendespulenordnung 41 erzeugten HF-Magnetfelder gelangen über die Stirnflächen 2 des Ringbandkerns 1 in das Werkstück 7 und vermögen oberflächennahe Wirbelströme 8 innerhalb der Skintiefe des Werkstückes 7 zu induzieren.

Das zur Schallwandlung notwendige senkrecht zur Oberfläche des Werkstückes 7 orientierte quasistatische Magnetfeld wird mittels zweier gleichnamiger Permanentmagnete 6 erzeugt zur Materialoberfläche des Werkstückes 7 geführt. Hierbei befindet sich die für die Ausbildung des senkrecht zur Werkstückoberfläche orientierten „quasistatischen“ Magnetfeldes erforderliche Vormagnetisierungseinheit innerhalb des offenen Teils des Ringbandkerns 1. Mit dieser Anordnung bilden sich innerhalb des Werkstückes Ultraschallwellen mit einer Ausbreitungsrichtung A senkrecht zur Werkstückoberfläche und einer dazu senkrechten Schwingungsebene S aus.

Eine zur vorstehenden Anordnung vergleichbare Prüfkopfvorrichtung ist der DE 41 30 935 A1 zu entnehmen, bei der jedoch die Sende- und Empfangsspulenordnung unmittelbar auf der zu untersuchenden Werkstückoberfläche aufliegt, wodurch die Gefahr eines Spulenverschleißes gegeben ist.

Der DE 195 43 482 A1 ist eine Vorrichtung zur Prüfung von ferromagnetischen Materialien, vorzugsweise in Form von Rohrleitungen entnehmbar, die jedoch einen anderen Komponentenaufbau aufweist, als im Falle des vorstehenden, ausführlich dargelegten Standes der Technik, von dem im weiteren ausgegangen wird.

Darstellung der Erfindung

Ausgehend von dem vorstehend genannten Stand der Technik liegt die Aufgabe zugrunde, einen gattungsgemäßen elektromagnetischen Ultraschallwandler derart auszubilden, dass die Effizienz, mit der Ultraschallwellen erzeugt werden sowie deren Nachweisempfindlichkeit gegenüber den bisher bekannten Ultraschallwandlern entscheidend gesteigert werden soll. Insbesondere gilt es darauf zu achten, die Spulenanordnung von der Werkstückoberfläche beabstandet anzuordnen, um mechanische Beeinträchtigungen der Spulenanordnung ausschließen zu können. Auch soll mit dem weitergebildeten Ultraschallwandler die Erzeugung von horizontal polarisierten Ultraschallwellen möglich sein.

Erfindungsgemäß ist ein elektromagnetischer Ultraschallwandler zur koppelmittelfreien Erzeugung und/oder zum Empfang von Ultraschallwellen in Form linearpolarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück mit wenigstens einer die Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes wandelnden Einheit, die eine Spulenanordnung zur Erzeugung bzw. zum Nachweis eines HF-Magnetfeldes sowie eine Vormagnetisierungseinheit zur Erzeugung eines quasi statischen Magnetfeldes aufweist, das das HF-Magnetfeld im Werkstück überlagert, wobei die Spulenanordnung torusförmig auf wenigstens einem teilringartig oder U-förmig ausgebildeten Magnetkern angeordnet ist, der jeweils zwei dem Werkstück zukehrbare Stirnflächen aufweist, derart weitergebildet, dass die dem Werkstück zukehrbaren Stirnflächen des Magnetkerns mittel- oder unmittelbar mit einem die Stirnflächen miteinander verbindenden magnetischen Flussleitstück verbunden sind, das eine dem Werkstück zugewandte Oberfläche aufweist.

Durch Vorsehen eines derartigen Flussleitstückes, das die Stirnflächen eines vorzugsweise als Ringbandkern ausgebildeten Magnetkerns miteinander verbindet,

ist es insbesondere möglich, die durch die Spulenanordnung generierten HF-Magnetfelder höchsteffizient in das Werkstück einzukoppeln, um auf diese Weise stark ausgeprägte Wirbelströme innerhalb der Skintiefe generieren zu können. Hierbei weist das Flussleitstück eine vorzugsweise konform an die Werkstückoberfläche ausgebildete Oberfläche auf, so dass eine vorzugsweise konturgetreue Kontaktierung zwischen dem Flussleitstück und dem Werkstück ermöglicht wird. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Flussleitstück als ein rechteckiger Stab mit einer ebenen, dem Werkstück zugewandten Oberfläche ausgebildet, die bündig auf einer ebenso eben ausgebildeten Werkstückoberfläche koppelmittelfrei aufsetzbar ist. Selbstverständlich kann die dem Werkstück zugewandte Oberfläche des Flussleitstückes je nach Krümmungsverhalten des zu untersuchenden Werkstücks in einer an die Werkstückkontur angepasste Oberflächenform gefertigt werden. Soll der elektromagnetische Ultraschallwandler bspw. bevorzugt zur Untersuchung zylinderförmiger Werkstückoberflächen eingesetzt werden, so ist das die Stirnflächen des Ringbandkernes verbindende Flussleitstück in entsprechender Konturbeschaffenheit auszubilden.

Neben der optimierten Einkopplung der HF-Magnetfelder in die Werkstückoberfläche über das Flussleitstück vermag dieses ebenso das quasi statische Magnetfeld nahezu verlustfrei in das Werkstück einzukoppeln. Hierzu ist in einer typischen Ausführungsform die Vormagnetisierungseinheit zur Erzeugung des quasi statischen Magnetfeldes in Form eines Permanentmagneten ausgebildet, der unmittelbar auf dem Flussleitstück, jeweils zwischen den Stirnflächen des Ringbandkernes, der den Permanentmagneten überragt, angeordnet. Hierbei dient das Flussleitstück als eine Art Konzentrador für das quasi statische respektive permanente Magnetfeld.

Um die Ausbildung von Wirbelströmen innerhalb des Flussleitstückes zu vermeiden, bietet es sich an, das Flussleitstück aus einem elektrisch nicht leitfähigen Trägermaterial auszubilden, in dem matrixartig weichmagnetische Partikel eingebracht sind. Alternativ vermag auch eine stapelförmige Anordnung aus weichmagnetischen Transformatorblechen die Ausbildung von Wirbelströmen innerhalb des Flussleitstückes wirksam zu vermeiden.

Neben der vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Ausbildung eines elektromagnetischen Ultraschallwandlers, dessen teilringartig oder U-förmig ausgebildeter Magnetkern ein einzelnes magnetisches Flussleitstück überragt, wobei die Stirnflächen des Magnetkerns mit dem einzigen Flussleitstück innig verbunden sind, sieht ein zweites, alternatives erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel für einen elektromagnetischen Ultraschallwandler wenigstens zwei parallel nebeneinander angeordnete Flussleitstücke vor, die brückenartig von wenigstens zwei teilringartig oder U-förmig ausgebildeten Magnetkernen über ihre jeweiligen Stirnflächen verbunden sind. Die Magnetkerne befinden sich voneinander beabstandet an den sich gegenüberliegenden Endbereichen der stabförmig ausgebildeten Flussleitstücke. Diese Bauweise erlaubt es die vorzugsweise als Permanentmagnetanordnung ausgebildete Vormagnetisierungseinheit zwischen beiden Magnetkernen längs beider Flussleitstücke anzubringen ohne jeweils von den vorzugsweise als Ringbandkernen ausgebildeten Magnetkernen überspannt zu werden, wie es beim vorstehend geschilderten Ausführungsbeispiel der Fall ist. Dies führt letztlich dazu, dass eine nahezu unbeschränkte Größenskalierung der Permanentmagnetanordnung möglich wird, wodurch die Magnetfeldstärke entsprechend vergrößerbar ist.

Neben der einfachsten Ausbildungsform des mit wenigstens einer Spulenordnung umwickelten Magnetkerns in Form eines Ringbandkernes sind auch Magnetkerne mit einem M-förmigen Magnetkernquerschnitt denkbar, mit jeweils drei frei endenden Stirnflächen. Mit derartigen Magnetkernen lassen sich vergleichbar zur vorstehenden elektromagnetischen Ultraschallwandleranordnung jeweils drei parallel nebeneinanderliegende magnetische Flussleitstücke brückenartig miteinander verbinden.

Wie im weiteren unter Bezugnahme auf die nachstehenden Ausführungsbeispiele im einzelnen ausgeführt wird, ist es möglich, bei geeigneter Zusammenstellung mehrerer der vorstehend beschriebenen Ultraschallwandler sowie Ansteuerung der jeweils auf den Magnetkernen torusförmig aufgebrachten Spulenordnungen,

linearpolarisierte Transversalwellen innerhalb des Werkstückes zu generieren. Insbesondere ermöglichen entsprechende Mehrfachanordnungen aus den erfindungsgemäß ausgebildeten elektromagnetischen Ultraschallwandlern die Erzeugung von vertikal oder horizontal linearer polarisierten Transversalwellen.

Hierzu lassen sich die eingangs beschriebenen, erfindungsgemäß ausgebildeten elektromagnetischen Ultraschallwandler in Vielfachanordnung nebeneinander plazieren, um einerseits eine möglichst große Sende- sowie Empfangsapertur sowie um andererseits durch phasengesteuerte HF-Anregung der einzelnen Spulenanordnungen eine gezielt einstellbare Abstrahlcharakteristik für die in das Werkstück einkoppelbaren Ultraschallwellen zu erhalten. Wie im weiteren noch ausgeführt wird, eignen sich derartige Anordnungen für eine Phased-Array-Anordnung zur Erzeugung horizontal polarisierter Transversalwellen (SH-Wellen), deren Ausbreitungsrichtung gezielt einstellbar ist, die bezogen zur Normalen der Werkstückoberfläche einen variablen Winkel zwischen 0° und 90° einschließt.

Kurze Beschreibung der Erfindung

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 elektromagnetischer Ultraschallwandler mit einem einzigen Flussleitstück,
- Fig. 2 elektromagnetischer Ultraschallwandler nach dem Stand der Technik,
- Fig. 3 Anordnung aus einer Vielzahl einzelner elektromagnetischer Ultraschallwandler nach Ausführung gemäß Figur 1,
- Fig. 4 schematisierte Darstellung des durch die Anordnung gemäß Figur 3 erzeugten Ultraschallwellenfeldes innerhalb eines Werkstückes,
- Fig. 5 elektromagnetischer Ultraschallwandler mit zwei Flussleitstücken, die brückenartig von jeweils zwei halbringförmigen Magnetkernen überspannt sind,

- Fig. 6 Anordnung einer Vielzahl elektromagnetischer Ultraschallwandler gemäß Figur 5 sowie
- Fig. 7 im Querschnitt M-förmig ausgebildete Magnetkerne, die jeweils brückenartig drei magnetische Flussleitstücke überspannen.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

In Figur 1 ist die einfachste Ausführungsform eines erfindungsgemäß ausgebildeten elektromagnetischen Ultraschallwandlers dargestellt, der als teilringartig ausgebildeter Magnetkern einen halbierten Ringbandkern 1 aufweist, dessen zwei Stirnflächen 2 unmittelbar mit einem im Querschnitt rechteckförmig ausgebildeten, stabförmigen Flussleitstück 3 verbunden ist. Um den halbierten Ringbandkern 1 ist torusförmig eine Spulenanordnung 4 gewickelt, die über zwei Anschlusskontakte 5 verfügt. Unmittelbar auf der Oberfläche 31 des Flussleitstückes 3 ist eine Vormagnetisierungseinheit 6 vorgesehen, die im gezeigten Ausführungsbeispiel als Permanentmagnet ausgebildet ist und stilisiert über eine Nordpolung verfügt. Hierbei überragt der Ringbandkern 1 den Permanentmagneten 6 vollständig. Ebenfalls stilisiert dargestellt ist das mit Hilfe der elektromagnetischen Ultraschallwandleranordnung zu untersuchende Werkstück 7, auf dessen Oberfläche 71 das Flussleitstück 3 mit seiner der dem Werkstück 7 zugewandten Oberfläche 32 vorzugsweise konturgetreu auflegbar ist. Somit tritt das durch den Permanentmagnet 6 erzeugte Magnetfeld senkrecht durch das Flussleitstück 3 über die Werkstückoberfläche 71 in das Werkstück 7 ein. Alternativ zur Ausbildung der Vormagnetisierungseinheit in Form eines Permanentmagneten 6, wie in Figur 1 dargestellt, ist es ebenso denkbar, die Vormagnetisierungseinheit in Form eines Elektromagneten auszubilden, dessen Feldlinien in gleicher Weise wie in der in Figur 1 dargestellten Anordnung senkrecht zur Werkstückoberfläche in das Werkstück eintreffen. Ebenso ist es jedoch auch möglich, einen Elektromagneten derart zu positionieren, so dass das durch den Elektromagneten hervorgerufene Magnetfeld parallel zur Werkstückoberfläche in das Werkstück eintritt. Auf die mit einer derartigen Magnetfeldausrichtung verbundenen Auswirkungen wird im weiteren eingegangen.

Der in Figur 1 dargestellte elektromagnetische Ultraschallwandler ist als elektromagnetischer Linienwandler anzusehen, der sowohl als Ultraschallsender sowie auch als Ultraschallempfänger betreibbar ist. Im Sendefall sind die Anschlusskontakte 5 mit einem HF-Generator verbunden, im Empfangsfall hingegen mit einem entsprechenden Verstärker und einer nachgeschalteten Auswerteeinheit. Selbstverständlich ist es möglich, längs eines einzigen halbierten Ringbandkernes zwei getrennte Spulenanordnungen vorzusehen, von denen eine als Sende- und die andere als Empfangsspule dient.

Aufgrund des großflächigen Kontaktes zwischen der Oberseite 32 des Flussleitstückes 3 und der Werkstückoberfläche 71 des Werkstückes 7 koppeln die längs des Flussleitstückes 3 geführten HF-Magnetfelder längs der gesamten Erstreckung des Flussleitstückes 3 in das Werkstück 7 ein und rufen innerhalb der Skintiefe intensive Wirbelströme hervor. Diese wiederum treten in Wechselwirkung mit dem die Werkstückoberfläche 71 durchdringenden quasi stationären Magnetfeld und erzeugen aufgrund sich ausbildender Lorentzkräfte sowie Magnetostriktionen Ultraschallwellen mit einer Frequenz, die der Wechselfrequenz der HF-Magnetfelder entsprechen. Durch den innigen Kontakt zwischen dem Flussleitstück 3 und der Werkstückoberfläche 71 wird ein höherer magnetischer Fluss innerhalb des Werkstückes 7 hervorgerufen, als es mit den bisher bekannten elektromagnetischen Ultraschallwandlern, bspw. dargestellt in Figur 2, der Fall ist. Auf diese Weise lässt sich die Effektivität sowohl in der Erzeugung von Ultraschallwellen als auch die Sensitivität im Empfangsfalle erheblich steigern.

Mit dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel eines elektromagnetischen Ultraschallwandlers, bei dem das quasi statische Magnetfeld senkrecht die Werkstückoberfläche 71 durchdringt, lassen sich linear polarisierte Transversalwellen erzeugen, deren Ausbreitungsrichtung senkrecht zur Werkstückoberfläche orientiert ist und die eine senkrecht zur Ausbreitungsrichtung orientierte Schwingungsebene aufweisen.

Zur gezielten Anregung sog. horizontal polarisierter Transversalwellen (SH-Wellen) wird in an sich bekannter Weise eine Vormagnetisierungseinheit benötigt, meist in Form einer Anordnung von Permanentmagneten mit alternierender Polarität, deren alternierende Magnetfelder in Überlagerung mit einem HF-Magnetfeld innerhalb des Werkstückes gebracht werden. Eine erfindungsgemäß ausgebildete Anordnung zur Erzeugung horizontal polarisierter Transversalwellen ist in Figur 3 dargestellt, die in dem gezeigten Ausführungsbeispiel fünf parallel nebeneinander angeordnete elektromagnetische Linienwandler gemäß dem in Figur 1 dargestellten Beispiel aufweisen. Es sei angenommen, dass die in Figur 3 stilisiert angedeuteten Spulenanordnungen 4 auf jeder der einzeln dargestellten Ultraschallwandler sowohl für die Erzeugung als auch für den Empfang von Ultraschallwellen ausgelegt sind. Sind die elektrischen Anschlüsse 5 der einzelnen Spulenanordnungen 4 für den Sende- und Empfangsfall an getrennten Elektronikkanälen eines HF-Generators bzw. entsprechenden Verstärkers mit Auswerteeinheit verbunden und werden die einzelnen Elektronikkanäle jeweils in ihrer Ansteuerphase zeitverzögert betrieben, so lässt sich mit der in Figur 3 dargestellten Anordnung eine Phased-Array-Anordnung realisieren, die in Art eines Gruppenstrahlers horizontal polarisierte Transversalwellen innerhalb eines Werkstückes zu erzeugen sowie nachzuweisen vermag. Hierbei werden jeweils benachbart angeordnete Ultraschallwandler mit einem jeweils entgegengesetzt im Flussleitstück gerichteten magnetischen Fluss betrieben, wodurch eine alternierende Ausbildung von Wirbelstromrichtungen unterhalb jeweils benachbarter Flussleitstücke generiert werden, die zu jeweils entgegengesetzt gerichteten Lorentzkräften und damit verbundenen Magnetostruktionsrichtungen führen und auf diese Weise Scherkräfte zur Erzeugung horizontal polarisierter Transversalwellen innerhalb des Werkstückes hervorrufen.

Durch geeignete Wahl der phasenabhängigen Ansteuerung der einzelnen, in nebeneinander in Reihe angeordneten Ultraschallwandlern lässt sich die Richtcharakteristik der sich innerhalb des Werkstückes ausbildenden horizontal polarisierten Transversalwelle derart gezielt einstellen, so dass die Hauptausbreitungsrichtung der Hauptkeule der horizontal polarisierten Transversalwelle einen Winkel α zur Oberflächennormale der Werkstückoberfläche

einschließt, der zwischen 0° und 90° beliebig wählbar ist. In Figur 4 ist hierzu eine veranschaulichende Skizze zur Erzeugung horizontal polarisierter Transversalwellen mit Hilfe der in Figur 3 dargestellten Ultraschallwellenanordnung dargestellt. Es sei angenommen, dass vier Ultraschallwandler $S_1 - S_4$ nebeneinander mit einem gegenseitigen Abstand D auf der Werkstückoberfläche 71 angeordnet sind. Die einzelnen Ultraschallwandler $S_1 - S_4$ werden mit jeweils einem zeitlichen Abstand Δt mit einem Strompuls in der vorstehen beschriebenen Weise beaufschlagt. Aufgrund der phasenverzögerten Bestromung der vier Ultraschallwandler $S_1 - S_4$ bilden sich innerhalb des Werkstückes 7 horizontal polarisierte Transversalwellen aus, die eine Hauptausbreitungsrichtung aufweisen, die mit der Normalen zur Werkstückoberfläche einen Winkel α einschließen, für den gilt:

$$\alpha = \sin \frac{c_t \cdot \Delta t}{D}$$

In obiger Beziehung bedeutet c_t die im Werkstück für die horizontal polarisierte Transversalwelle geltende Ausbreitungsgeschwindigkeit. Somit zeigt sich, dass bei einer phasensynchronen Ansteuerung aller vier Ultraschallwandler, d. h. $\Delta t = 0$, α gleich Null wird, so dass die horizontal polarisierten Transversalwellen senkrecht zur Werkstückoberfläche in das Werkstück abgestrahlt werden. Werden die einzelnen Ultraschallwandler mit einer Phasenzeitverzögerung Δt betrieben, während der eine Ultraschallwelle bspw. vom Ultraschallwandler S_1 zum Wandler S_2 gelangt, also die Wegstrecke D zurücklegt, so schließt die Hauptkeule der sich innerhalb des Werkstückes ausbildenden horizontal polarisierten Transversalwelle mit der Normalen zur Werkstückoberfläche einen Winkel α von 90° ein. Je nach Wahl von Δt lässt sich somit die Hauptkeule beliebig 0° und 90° innerhalb des Werkstückes schwenken.

Die vorstehenden Ausführungen, die sich auf den Sendebetrieb beziehen, lassen sich in umgekehrter Weise ebenso auch für den Empfang von SH-Wellen aus einem Werkstück übertragen.

Eine weitere Ausführungsform für einen erfindungsgemäß ausgebildeten elektromagnetischen Ultraschallwandler ist in Figur 5 dargestellt. Der Wandler weist zwei parallel beabstandet angeordnete magnetische Flussleitstücke 3, 3' auf, deren Oberseiten 32, 32' mit den Stirnseiten zweier halbkreisförmig ausgebildeter Ringbandkerne 1, 1' verbunden sind. Beide Flussleitstücke 3, 3' sind somit durch die Ringbandkerne 1, 1' brückenartig miteinander verbunden. Überdies weist das in Figur 5 dargestellte Ausführungsbeispiel zwei gegenpolige Permanentmagnete 6, 6' auf, die auf den jeweiligen Flussleitstücken 3, 3' aufsitzen. Die Ansteuerung der Spulenanordnungen der einzelnen Ringbandkerne 1, 1' erfolgt derart, dass in den Flussleitstücken 3, 3' gegensätzlich gerichtete dynamische Magnetfelder entstehen, die zu Wirbelströmen im Werkstück führen, die senkrecht zur Längsausdehnung der Flussleitstücke 3, 3' und ebenfalls zueinander entgegengesetzt orientiert sind. Aufgrund der ungleichpoligen Permanentmagnete 6, 6' bilden sich unter den Flussleitstücken innerhalb der Skintiefe des Werkstückes gleichgerichtete Scherkräfte aus, wodurch linear polarisierte Transversalwellen mit senkrecht zur Werkstückoberfläche ausbreitende Ultraschallwellen entstehen. Die in Figur 5 dargestellte Anordnung ist somit als Normalprüfkopf anzusehen, für die Erzeugung und Nachweis linear polarisierter Transversalwellen mit großer Apertur, vergleichbar jener, die nur einen einzigen elektromagnetischen Linienwandler aufweist nach Bauart des in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiels.

In Figur 6 ist eine Anordnung aus drei nebeneinander angeordneten Normalprüfköpfen dargestellt, gemäß dem Grundaufbau des in Figur 5 gezeigten Ultraschallwandlers. Die drei nebeneinander angeordneten Normalprüfköpfe N sind mit ihren zugehörigen HF-Spulen 4 derart geschaltet, dass jeweils in benachbarten Flussleitstücken 3 die Richtung der dynamischen Magnetfelder entgegengesetzt orientiert sind, d. h. es besteht eine Phasendifferenz von 180° zwischen jeweils unmittelbar benachbarten HF-Magnetfeldern. Durch einen derart orientierten, jeweils entgegengesetzt gerichteten magnetischen Fluss der dynamischen Magnetfelder werden im Sendefall in der Werkstückoberfläche Wirbelströme eingekoppelt, die senkrecht zur Richtung der dynamischen Magnetfelder orientiert sind. Bei Überlagerung eines einheitlichen statischen Magnetfeldes führen die Wirbelströme j

unmittelbar unterhalb der jeweiligen Flussleitstücke 3 zu Lorentzkraften F_L , die jeweils unmittelbar unterhalb benachbarter Flussleitstücke entgegengesetzt gerichtet sind und somit Scherkräfte innerhalb des Werkstückes hervorrufen, durch die SH-Transversalwellen erzeugt werden. Die Spulwellenlänge, die der halben Schwingungswellenlänge der SH-Welle entspricht, ist durch den gegenseitigen Abstand unmittelbar benachbarter Flussleitstücke bestimmt. Die Abstrahlrichtung der SH-Wellen ist mit der in Figur 6 dargestellten Anordnung senkrecht zu den einzelnen Flussleitstücken 3 orientiert, die auch durch die jeweils entgegengesetzt gerichteten Pfeile A gemäß Figur 6 angedeutet ist.

Die in Figur 6 dargestellte Anordnung besteht auch insbesondere in der gezielten Verwendung eines großflächigen unipolaren Magneten 6, der entscheidend das störende Barkhausen-Rauschen im Bereich der einzelnen Wandlerelemente zu unterdrücken vermag.

In Figur 7 ist eine der Anordnung gemäß Figur 6 sehr ähnliche Anordnung zur Erzeugung von SH-Wellen dargestellt. Im Unterschied zur Figur 6 sind die in Figur 7 eingesetzten Ringbandkernsegmente 1 in Form m-förmiger Spulenkerne ausgebildet, wobei jeweils zwei m-förmige Spulenkerne mit jeweils 3 Flussleitstücken 3, 3', 3'' beschaltet sind. Die um die Spulenkerne 1 vorgesehene Spulenanordnungen werden derart beschaltet, so dass längs der sich parallel nebeneinander befindlichen Flussleitstücke jeweils entgegengesetzt gerichtete HF-Magnetfelder ausbilden, die in Überlagerung mit einem senkrecht zur Werkstückoberfläche orientierten statischen Magnetfeldes, das von einem unipolaren Permanentmagneten 6 herrührt, der die drei Normalprüfköpfe N gesamtheitlich überdeckt, innerhalb des Werkstückes zu jeweils entgegengesetzt gerichteten Wirbelströmen unterhalb unmittelbar benachbarter Flussleitstücke führen, durch die wiederum entgegengesetzt gerichtete Lorentzkraften hervorgerufen werden, die letztlich die für die Erzeugung horizontal polarisierter Transversalwellen erforderlichen Scherkräfte verantwortlich sind.

Bezugszeichenliste

1	Ringbandkern
2	Stirnfläche
3	Flussleitstück
31, 32	Oberflächen des Flussleitstückes
4	Spulenanordnung
41	Sendespule
42	Empfangsspule
5	Elektrische Kontakte
6	Permanentmagnet
7	Werkstück
71	Werkstückoberfläche
8	Wirbelstrom

Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Ultraschallwandler zur koppelmittelfreien Erzeugung und/oder zum Empfang von Ultraschallwellen in Form linear polarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück mit wenigstens einer die Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes wandelnden Einheit, die eine Spulenanordnung zur Erzeugung bzw. zum Nachweis eines HF-Magnetfeldes sowie eine Vormagnetisierungseinheit zur Erzeugung eines quasistatischen Magnetfeldes aufweist, das das HF-Magnetfeld im Werkstück überlagert, wobei die Spulenanordnung torusförmig auf wenigstens einem teilringartig oder U-förmig ausgebildeten Magnetkern angeordnet ist, der jeweils zwei dem Werkstück zukehrbare Stirnflächen aufweist, dadurch **gekennzeichnet**, dass die dem Werkstück zukehrbaren Stirnflächen des Magnetkerns mittel- oder unmittelbar mit einem die Stirnflächen miteinander verbindenden magnetischen Flussleitstück verbunden sind, das eine dem Werkstück zugewandte Oberfläche aufweist.

2. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach dem Oberbegriff des Anspruches 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei Magnetkerne sowie wenigstens zwei magnetische Flussleitstücke vorgesehen sind, dass eine Stirnfläche eines Magnetkerns mit einem der wenigstens zwei magnetischen Flussleitstücke mittel- oder unmittelbar und die andere Stirnfläche des einen Magnetkerns mit dem anderen der wenigstens zwei magnetischen Flussleitstücke mittel- oder unmittelbar verbunden sind, dass eine Stirnfläche des anderen Magnetkerns mit dem einen der wenigstens zwei magnetischen Flussleitstücke mittel- oder unmittelbar und die andere Stirnfläche des anderen Magnetkerns mit dem anderen der wenigstens zwei magnetischen

Flussleitstücke jeweils beabstandet vom ersten Magnetkern mittel- oder unmittelbar verbunden sind, und

dass die magnetischen Flussleitstücke jeweils eine dem Werkstück zugewandte Oberfläche aufweisen.

3. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach Anspruch 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass die wenigstens zwei Magnetkerne jeweils U-förmig ausgebildet sind und jeweils zwei über einen Verbindungsteil verbundene Längsschenkel aufweisen, an deren Enden die Stirnflächen vorgesehen sind, dass jeweils zwischen den Längsschenkeln wenigstens ein weiteres Längselement, das einseitig mit dem Verbindungsteil verbunden ist, vorgesehen ist, an dessen Ende eine weitere Stirnfläche vorgesehen ist, und dass wenigstens ein weiteres magnetisches Flussleitstück die Stirnflächen der Längselemente beider Magnetkerne miteinander verbindet.

4. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass zur Erzeugung von Ultraschallwellen die Spulenanordnung mit einem HF-Generator zur Erzeugung von HF-Magnetfeldern verbunden ist.

5. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass zum Nachweis von Ultraschallwellen die Spulenanordnung mit einer Verstärkereinheit und/oder einer Auswerteeinheit verbunden ist.

6. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Spulenanordnung zwei getrennte Spulen vorsieht, eine Sendespulenanordnung zur Erzeugung eines HF-Magnetfeldes, die mit einem HF-Generator verbunden ist, sowie eine Empfangsspulenanordnung zum Nachweis eines HF-Magnetfeldes, die mit einer Verstärkereinheit und/oder einer Auswerteeinheit verbunden ist.

7. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass das magnetische Flussleitstück stabförmig ausgebildet ist und weichmagnetisches Material enthält.
8. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass das magnetische Flussleitstück aus einer stapelförmigen Anordnung weichmagnetischer Plattenelemente besteht oder aus einem elektrisch nichtleitfähigem Material gefertigt ist, in dem weichmagnetische Partikel matrixförmig verteilt enthalten sind.
9. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Stirnflächen des Magnetkerns fest mit dem magnetischen Flussleitstück verfügt ist.
10. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass mittel- oder unmittelbar auf einer dem Werkstück abgewandten Oberseite des wenigstens einen magnetischen Flussleitstückes die Vormagnetisierungseinheit vorgesehen ist.
11. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Vormagnetisierungseinheit eine Permanent- oder eine Elektromagnetanordnung ist.
12. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Vormagnetisierungseinheit derart angeordnet ist, dass das quasistatische Magnetfeld senkrecht zur Werkstückoberfläche in das Werkstück einleitbar ist.

13. Elektromagnetischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Vormagnetisierungseinheit eine Elektromagnetanordnung ist, durch die ein quasistatisches Magnetfeld horizontal zur Werkstückoberfläche in das Werkstück einleitbar ist.

14. Anordnung zur koppelmittelfreien Erzeugung und/oder zum Empfang von Ultraschallwellen in Form linear polarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück, dadurch **gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei elektromagnetische Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3 beabstandet derart nebeneinander angeordnet sind, dass die Längsrichtungen der jeweiligen magnetischen Flussleitstücke der einzelnen Ultraschallwandler parallel zueinander ausgerichtet sind.

15. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Vormagnetisierungseinheiten der einzelnen Ultraschallwandler gleichpolig sind, oder dass sich eine einzige Vormagnetisierungseinheit über alle magnetischen Flussleitstücke der nebeneinander angeordneten Ultraschallwandler erstreckt.

16. Verwendung der Anordnung nach einem der Ansprüche 14 oder 15 zur Erzeugung und/oder Nachweis von horizontal polarisierten Transversalwellen dadurch **gekennzeichnet**, dass die Spulenanordnungen der wenigstens zwei elektromagnetischen Ultraschallwandler mittels einer Phased-Array-Ansteuerung betrieben werden.

17. Verwendung nach Anspruch 16, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Spulenanordnungen aller elektromagnetischer Ultraschallwandler nacheinander mit einem in der Phase zeitverzögerten Ansteuersignal derart angesteuert werden, dass im Falle der Erzeugung von Ultraschallwellen die in das Werkstück eintretenden Ultraschallwellen eine von der Phasensteuerung abhängige Richtcharakteristik aufweisen, deren

Hauptausbreitungsrichtung bezogen auf die Normale zur Werkstückoberfläche 0° und 90° schwenkbar ist.

18. Verwendung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch **gekennzeichnet**, dass im Wege der Erzeugung von Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes die Spulenanordnungen der einzelnen Ultraschallwandler derart angesteuert werden, dass zwei unmittelbar benachbart liegende magnetische Flussleitstücke jeweils von einem magnetischen Fluss durchsetzt werden, die zueinander entgegengerichtet orientiert sind.

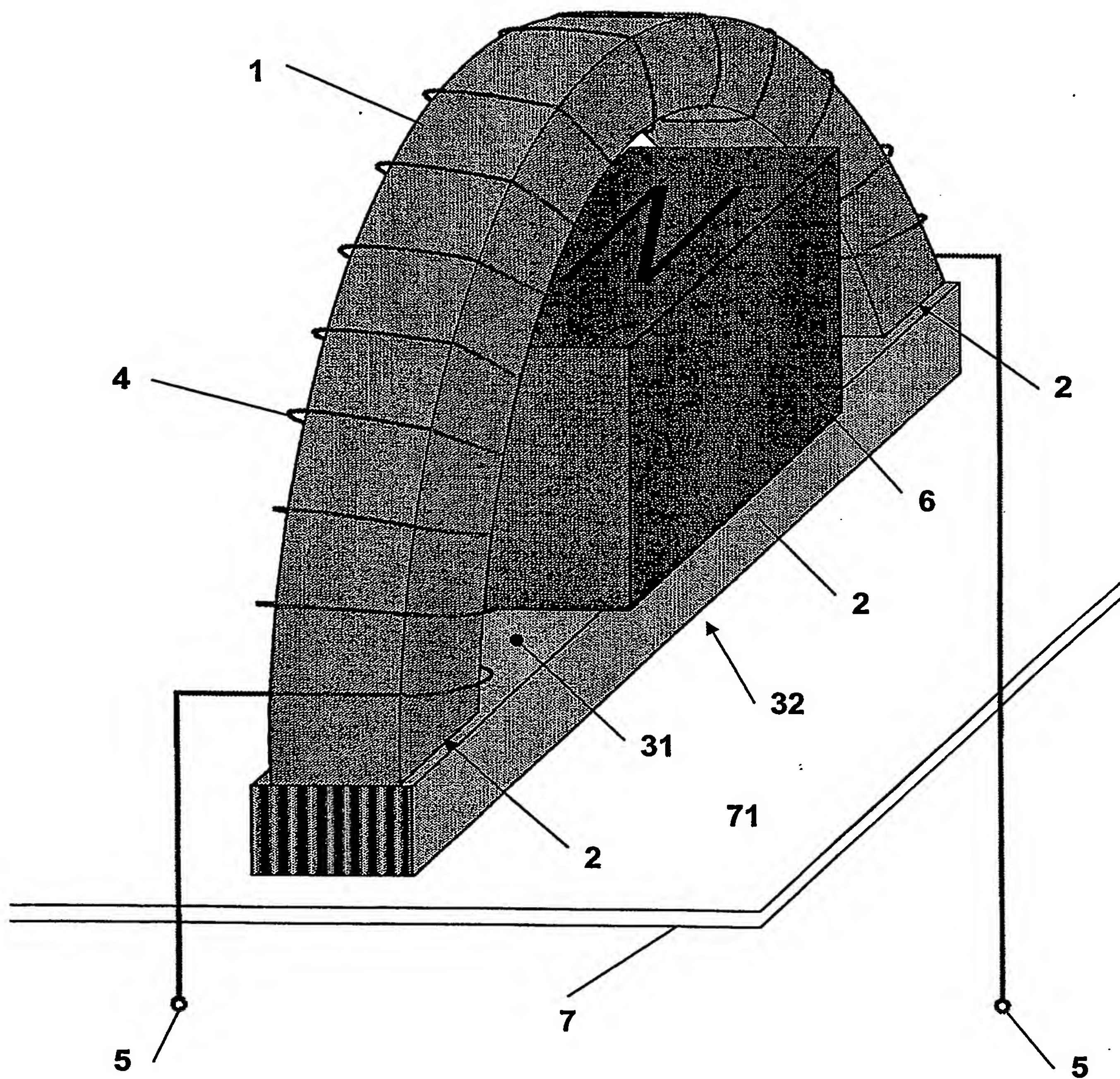


Fig. 1

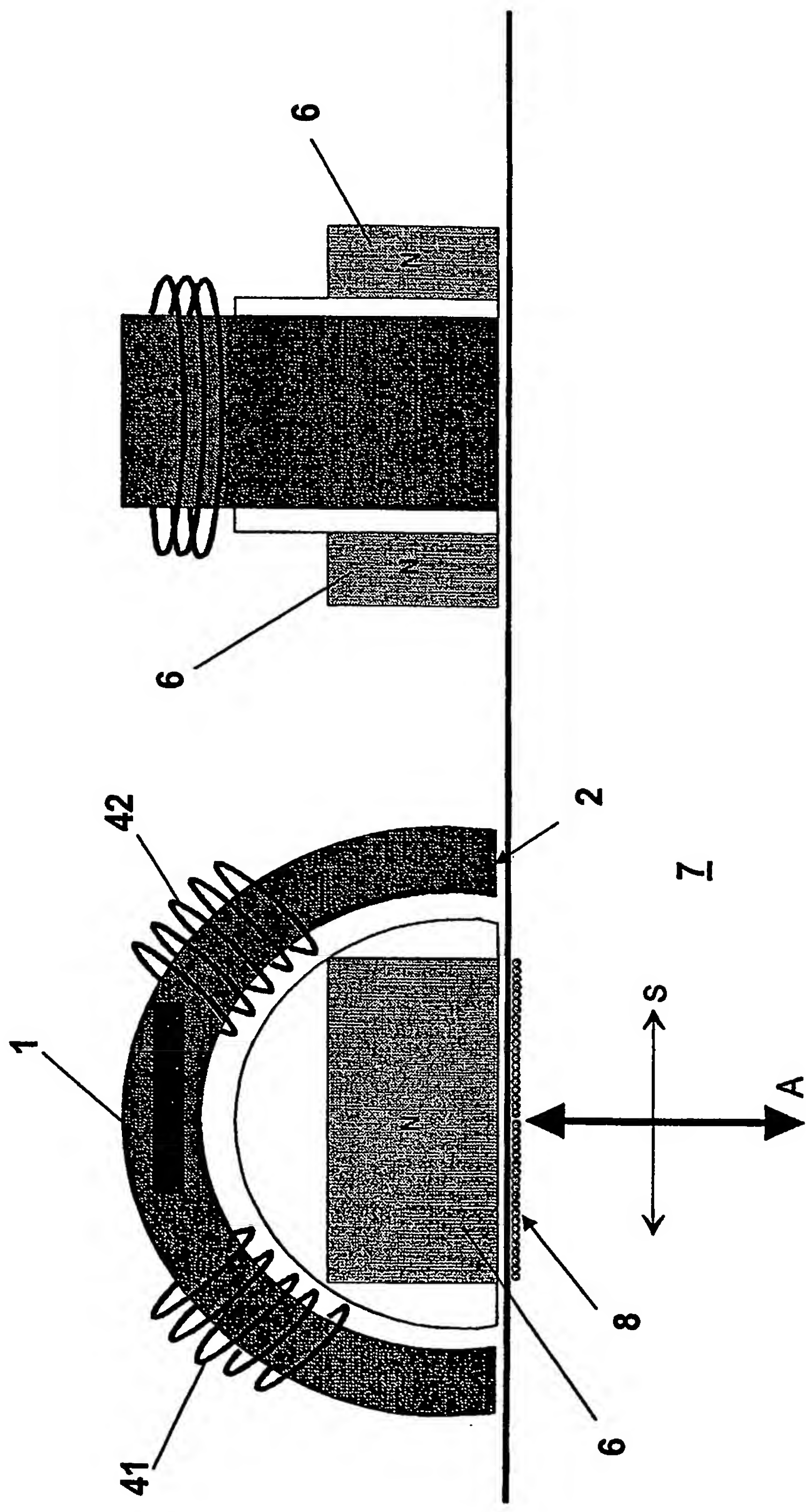
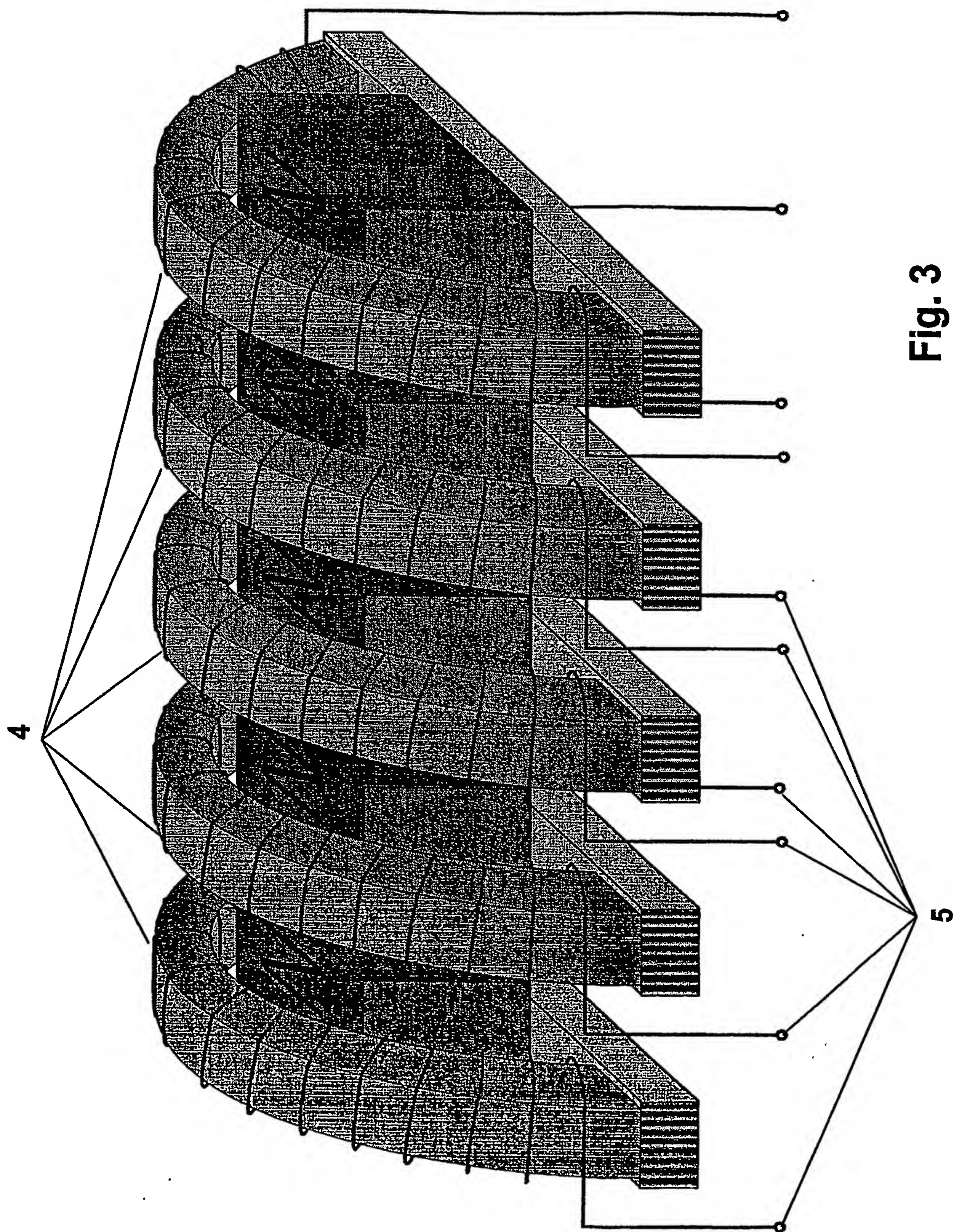


Fig. 2 (Stand der Technik)



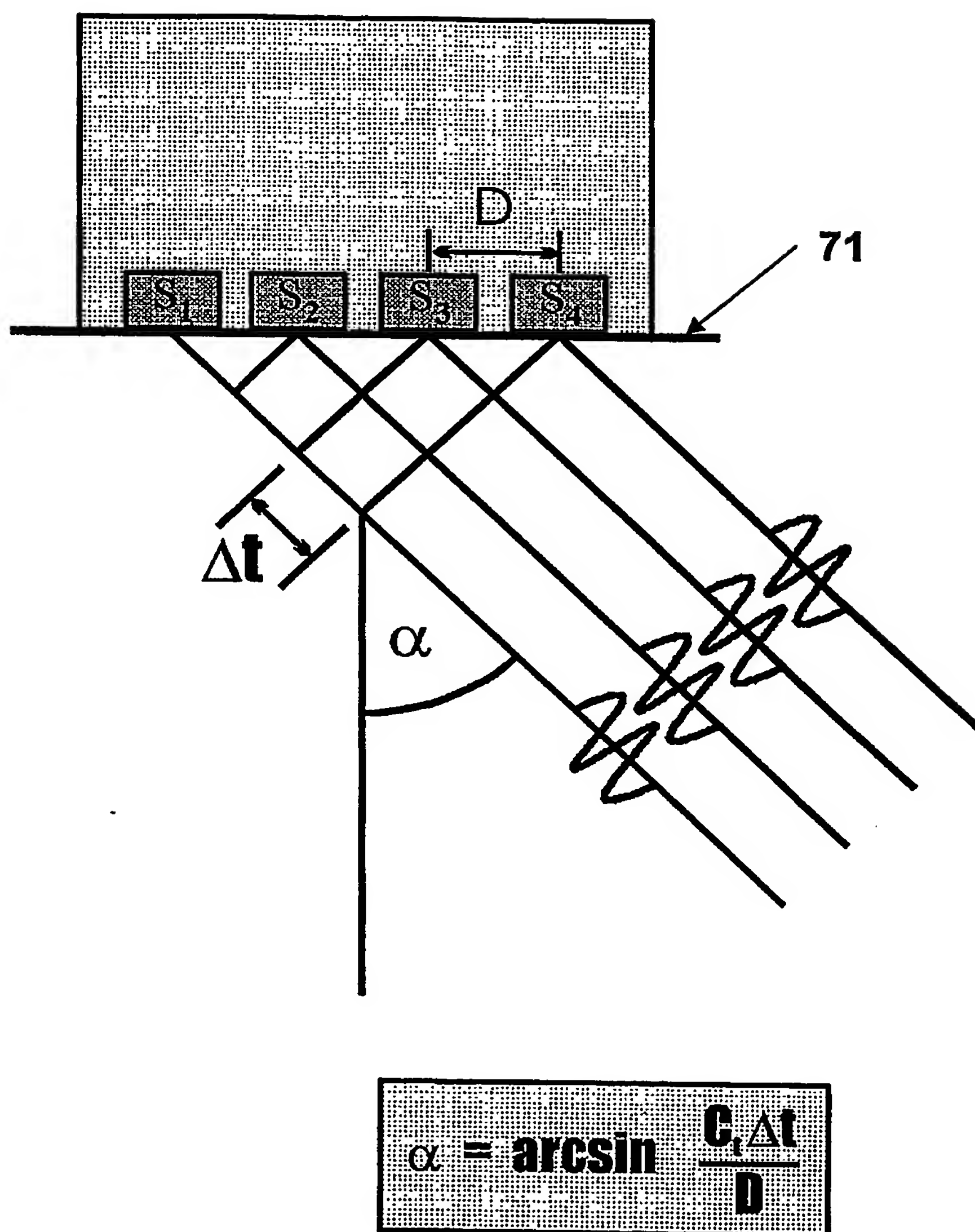


Fig. 4

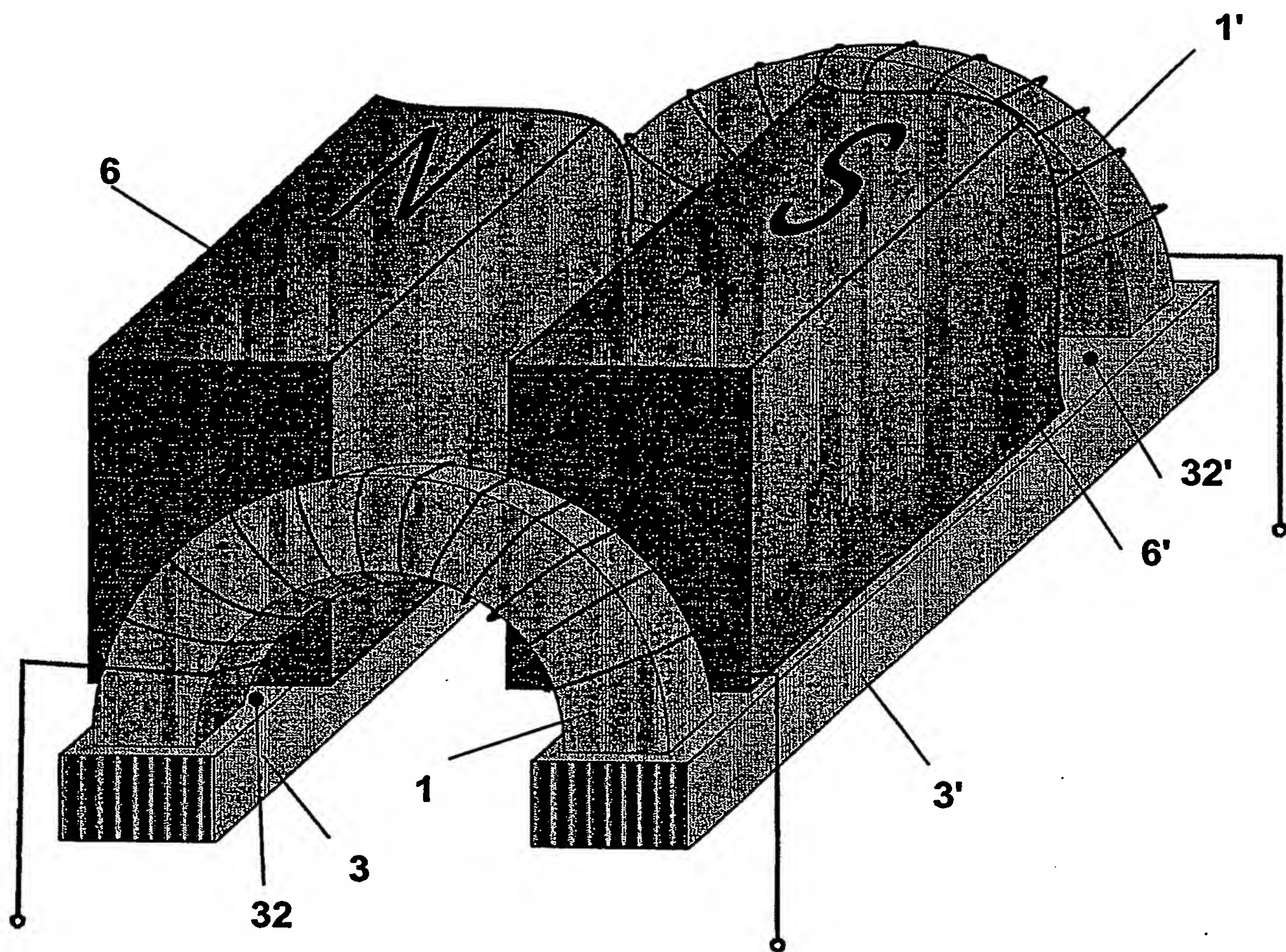


Fig. 5

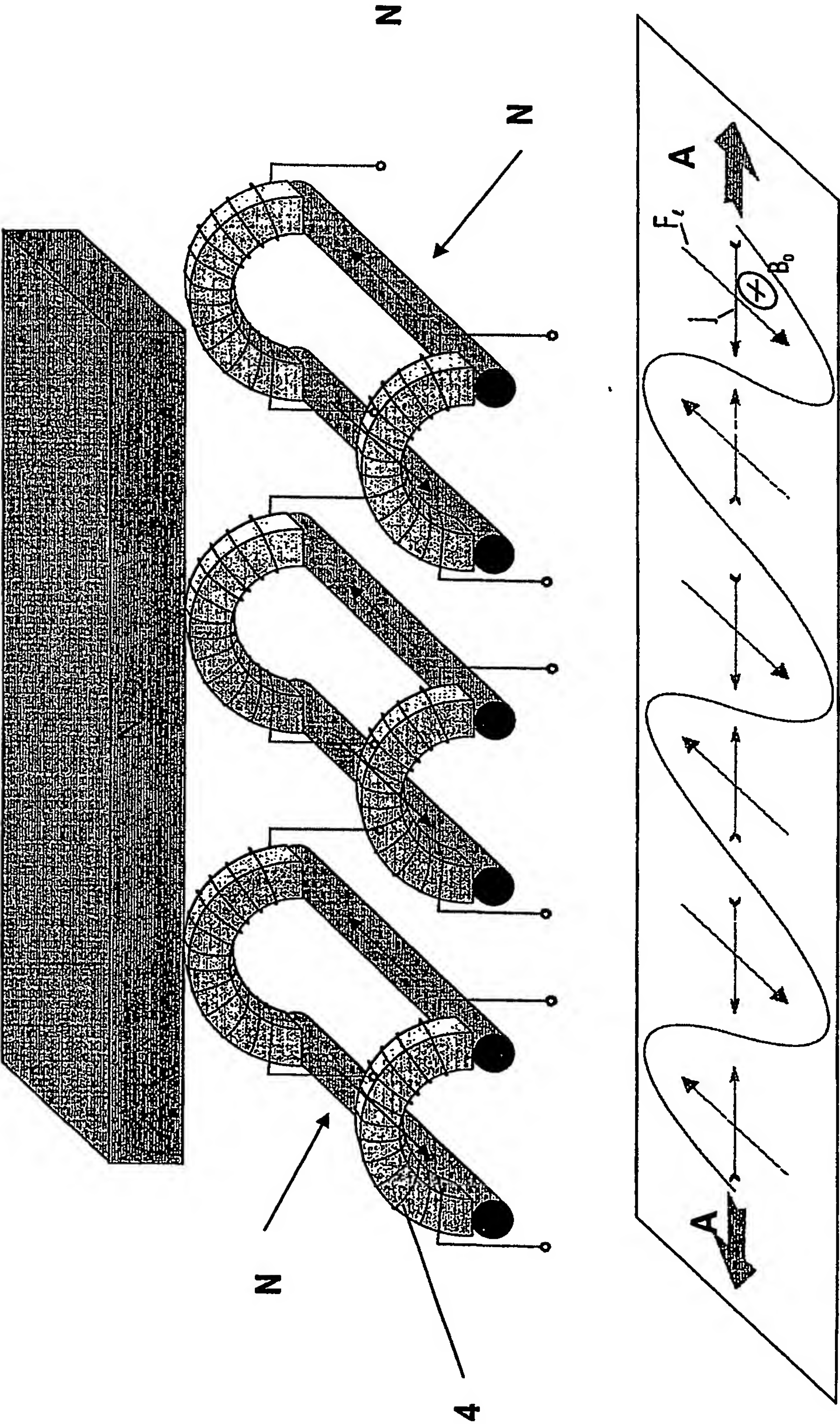


Fig. 6

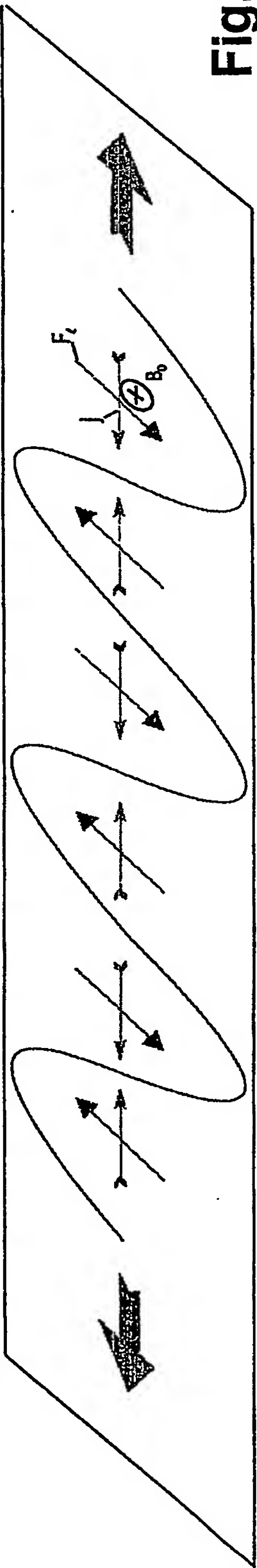
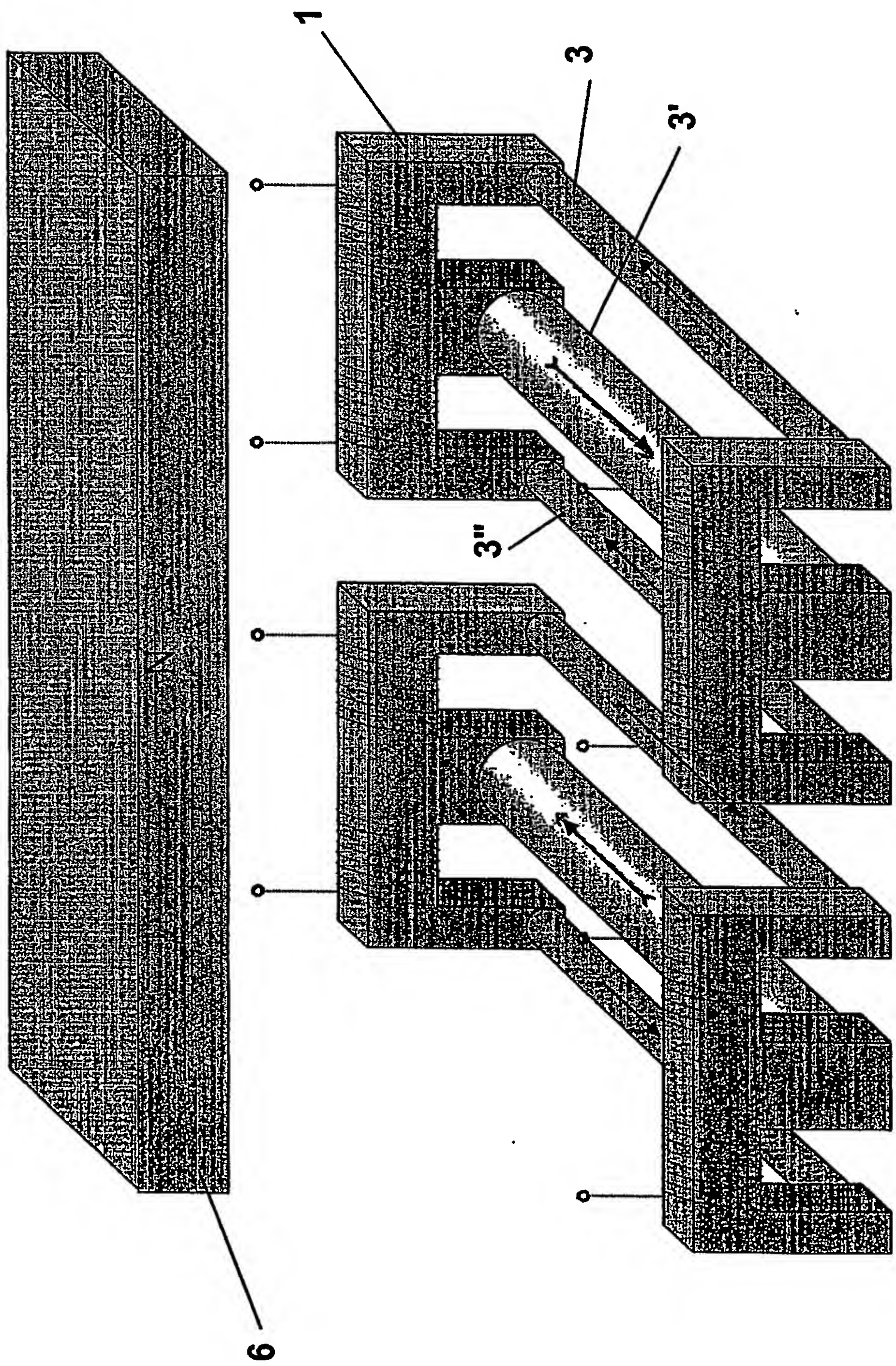


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/13857

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B06B1/04 G01N29/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 B06B G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 579 255 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 19 January 1994 (1994-01-19) cited in the application column 6, line 9 -column 7, line 41 abstract; figures 1-7 ---	1-18
A	EP 0 440 317 A (MANNESMANN AG) 7 August 1991 (1991-08-07) column 6, line 45 -column 8, line 34 abstract; figures 3,4 ---	1-18
A	US 6 009 756 A (BARBIAN OTTO-ALFRED ET AL) 4 January 2000 (2000-01-04) column 8, line 56 -column 9, line 2 abstract; figure 5 --- -/--	1-18

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 March 2004

Date of mailing of the international search report

31/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Passier, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/13857

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>DE 42 28 426 C (MANNESMANN AG) 24 March 1994 (1994-03-24) column 3, line 64 -column 4, line 25 abstract; figure 1 -----</p>	1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/13857

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
EP 0579255	A	19-01-1994	DE	4223470 A1	20-01-1994
			DE	59301534 D1	14-03-1996
			EP	0579255 A2	19-01-1994
EP 0440317	A	07-08-1991	DE	4101942 A1	08-08-1991
			DE	59101051 D1	07-04-1994
			EP	0440317 A1	07-08-1991
US 6009756	A	04-01-2000	DE	19543481 A1	28-05-1997
			CA	2209899 A1	29-05-1997
			WO	9719346 A1	29-05-1997
			EP	0775910 A1	28-05-1997
			JP	10512967 T	08-12-1998
			NO	964932 A	23-05-1997
DE 4228426	C	24-03-1994	DE	4228426 C1	24-03-1994

INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen

PCT/EP 03/13857

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B06B1/04 G01N29/24

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B06B G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 579 255 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 19. Januar 1994 (1994-01-19) in der Anmeldung erwähnt Spalte 6, Zeile 9 - Spalte 7, Zeile 41 Zusammenfassung; Abbildungen 1-7 ---	1-18
A	EP 0 440 317 A (MANNESMANN AG) 7. August 1991 (1991-08-07) Spalte 6, Zeile 45 - Spalte 8, Zeile 34 Zusammenfassung; Abbildungen 3,4 ---	1-18
A	US 6 009 756 A (BARBIAN OTTO-ALFRED ET AL) 4. Januar 2000 (2000-01-04) Spalte 8, Zeile 56 - Spalte 9, Zeile 2 Zusammenfassung; Abbildung 5 --- -/--	1-18



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

22. März 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

31/03/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Passier, M

INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Inter Aktenzeichen
PCT/EP 03/13857

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>DE 42 28 426 C (MANNESMANN AG) 24. März 1994 (1994-03-24) Spalte 3, Zeile 64 -Spalte 4, Zeile 25 Zusammenfassung; Abbildung 1 -----</p>	1-18

INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die für selben Patentfamilie gehören

Intern. Aktenzeichen

PCT/EP 03/13857

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0579255	A	19-01-1994	DE 4223470 A1 20-01-1994
		DE 59301534 D1 14-03-1996	
		EP 0579255 A2 19-01-1994	
EP 0440317	A	07-08-1991	DE 4101942 A1 08-08-1991
		DE 59101051 D1 07-04-1994	
		EP 0440317 A1 07-08-1991	
US 6009756	A	04-01-2000	DE 19543481 A1 28-05-1997
		CA 2209899 A1 29-05-1997	
		WO 9719346 A1 29-05-1997	
		EP 0775910 A1 28-05-1997	
		JP 10512967 T 08-12-1998	
		NO 964932 A 23-05-1997	
DE 4228426	C	24-03-1994	DE 4228426 C1 24-03-1994

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.